

学位論文審査の結果の要旨

氏名	梶山 嵩
審査委員	主査 原 忠
	副査 小林 範之
	副査 笹原 克夫
	副査 治多 伸介
	副査 中澤 博志

論文名

鋼矢板によるため池堤体の耐震補強技術に関する研究

審査結果の要旨

近年、我が国では地震によるため池の被害が頻発している。2011年東北地方太平洋沖地震では1,990箇所のため池が被災したが、福島県須賀川市にある藤沼ダムでは堤体が決壊し、多量の貯水が下流集落に到達したことにより、死者・行方不明者8名、家屋全壊22戸の被災に至った。類似の被災事例は2016年熊本地震や2018年の大阪府北部を震源とする地震でも報告され、海外の報告例もある。農林水産省が2013年から2015年にかけて実施したため池一斉点検によれば、調査総数の5割を上回るため池で堤体の耐震性能不足が確認された。切迫する南海トラフ地震など、大規模地震の発生が懸念されている現状において、ため池堤体の耐震補強は喫緊の課題であり社会的重要度が増している。

本研究は、鋼矢板による海岸・河川堤体の補強技術である「鋼矢板二重式工法」を、ため池堤体に適用することを目的としており、振動台模型実験や数値解析、現地観測などの結果から、揺れや貯水が堤体と鋼矢板の挙動に及ぼす影響を分析した。鋼矢板二重式工法のため池堤体補強への適用は、貯水したままの状態ですぐに施工することが可能で、受益者の営農活動を阻害しないなどメリットが多いが、常時貯水を満たした状況では堤体内への池水の浸透により液状化やすべり破壊を引き起こす可能性があり、地震時には基礎地盤からの揺れと動水圧が堤体に作用するなど、海岸堤防などとは異なる状態にある。耐震・耐液状化対策工法として施工実績を有し、基礎地盤の液状化や津波対策としての効果が検証された既存技術に比べ、ため池堤体への適用性や耐震性能を検証した研究はほとんどない。

第3章では、ため池堤体の地震による被災形態に対する鋼矢板二重式工法の対策効果を検証するため、重力場の振動台模型実験により、ため池堤体と基礎地盤の液状化、越流時の堤体の性状、貯水の堤体への浸透とすべり破壊、堤体と鋼矢板に作用する動水圧、の4項目に着目した系統的な実験を行った。振動台模型実験では、基礎地盤に液状化層が存在する場合、存在しない場合を比較し、鋼矢板の配置による堤体の変形・沈下の抑制効果を検証した。さらに、背後地の法面崩壊など貯水の急激な増加を想定し、加振後の損傷した堤体を対象に簡易な越流実験を行った。貯水の浸透は、模型実験の成果と堤高が大きく下流側法面勾配が急峻な堤体を対象とした加振実験に対して、浸透流解析を併用しながら鋼矢板のすべり破壊に対する抵抗性能を検証した。堤体と鋼矢板に作用する動水圧は、貯水から堤体の上流側法面に作用する水圧と堤体内の鋼矢板に間隙水との関係を比較し、鋼矢板壁に作用する外力を評価した。

正弦波加振による振動台模型実験によれば、無対策では基礎地盤と堤体土の液状化が確認され、飽和

域での鉛直、水平沈下が激しく生じたが、鋼矢板二重工法を模擬した実験では矢板の高い遮水性が効果を発揮し、加振中の堤体直下の過剰間隙水圧が抑制され、液状化の発生や加振終了後の水平変位、天端の沈下がほとんど生じなかった。法面勾配が急峻な堤体のすべり破壊の抑制への効果もみられ、加速度振幅の大きな地震動が発生した場合であっても、堤体上流側に作用する動水圧は鋼矢板壁の変形に影響を及ぼさないことを示した。これらのことは、海岸堤防への改良と同様、鋼矢板を二重に堤体内に配置することにより、貯水がある場合であっても振動に伴う過剰間隙水圧の発生や鋼矢板壁の変形を抑制し、堤体の沈下や水平変位を抑制する効果があることを実験的に評価したものである。さらに、加振後の簡易な越流実験により、鋼矢板の根入れが十分に水圧に対する自立性が担保される場合には、貯水の越流による堤体の損傷を最小化し、耐え粘り強い構造が確保されることを示した。一連の結果から、十分な剛性・耐力と遮水性を有する補強壁を堤体内に配置することにより、貯水による動水圧の影響を受ける場合であっても、地震時の堤体とその後の越流に対して、鋼矢板二重壁の健全性が保たれ粘り強い効果を発揮することが明らかにされた。

第4章では、谷池のような硬質な岩盤層での施工を想定し、第3章で得られた実験結果を数値モデルにより実大規模に拡張し、貯水が堤体と鋼矢板の地震時挙動に及ぼす影響を、堤体内の地下水位の変化や動水圧の作用力などから評価した。一連の解析結果から、基礎地盤が岩盤層など密な層である場合、ため池堤体に配置された鋼矢板壁は貯水の浸透を遮断することで、常時の地下水位の変動を抑制しながら地震時の過剰間隙水圧の発生を抑制し、堤体の沈下抑制に寄与することが明らかになった。これは、鋼矢板壁を配置することにより、高い遮水性が継続されることを証明したものである。なお、加振中の動水圧を時刻歴で再現することで、堤体や鋼矢板の地震時の変形挙動が精緻に評価できた。すなわち、堤体内部に配置された鋼矢板の地震時の変形挙動を精度良く評価するためには、鋼矢板の剛性や配置、根入れなどの評価を加え、実物の堤体形状に即した数値モデルによる解析を行うなど、通常の改良工法とは異なる視点で評価することが望ましいことを示した。

第5章では、2018年度に鋼矢板二重式工法で耐震補強された実ため池を対象に、堤体内の地下水位の分布を調査し、堤体内の浸透流を観測結果から分析した。ここでは、鋼矢板二重式工法により補強された実ため池の地下水位観測結果を湛水開始前後や降雨に対して整理した。観測結果を分析した結果、矢板上流側の堤体内水位は貯水とほぼ等価であるが、鋼矢板で囲まれた堤体内の地下水位は大きく減少し、堤体下流側の地下水位は貯水や降水の影響によらず岩盤付近に安定していた。さらに、総降雨量が200mmを超える比較的大きな降水であっても、鋼矢板で締め切られた堤体内の地下水位の上昇は僅かで、液状化や揺れに伴う堤体のすべり崩壊を誘発する地下水位上昇を抑制する効果に加え、貯水による漏水を抑制する効果が発揮されることが実証された。

一連の結果は、未解明の事項の多い鋼矢板により補強されたため池堤体の耐震性や液状化抵抗性、貯水による影響を実験や数値解析、現地観測などから定量的に分析したもので、施工に苦慮する狭隘な立地環境での改修や施工後の耐震補強工法の信頼性を担保するものである。鋼矢板の堤体内への埋設は液状化などによる堤体の損傷を防ぐばかりでなく、老衰を抑制する老朽化対策としての効果も期待される。一連の評価は実務面での利用も想定されたものであり、喫緊の課題であるため池の耐震改修手法の新しい方法を普及させるきっかけとなる先進的な研究である。

本論文に関する公開審査会は、令和3年7月31日にリモートシステムを利用して開催され、申請者による口頭発表と質疑応答が行われた。引き続き開催された学位論文審査委員会で、本論文の内容を慎重に審議した結果、審査委員全員一致して博士（学術）の学位を授与するものと判定した。